

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
9. September 2005 (09.09.2005)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2005/083251 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **F02D 41/20**

(72) Erfinder; und

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2005/050508

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): AUGESKY, Christian,
Georg [AT/DE]; Waldweg 15, 93055 Regensburg (DE).

(22) Internationales Anmeldedatum:
7. Februar 2005 (07.02.2005)

(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

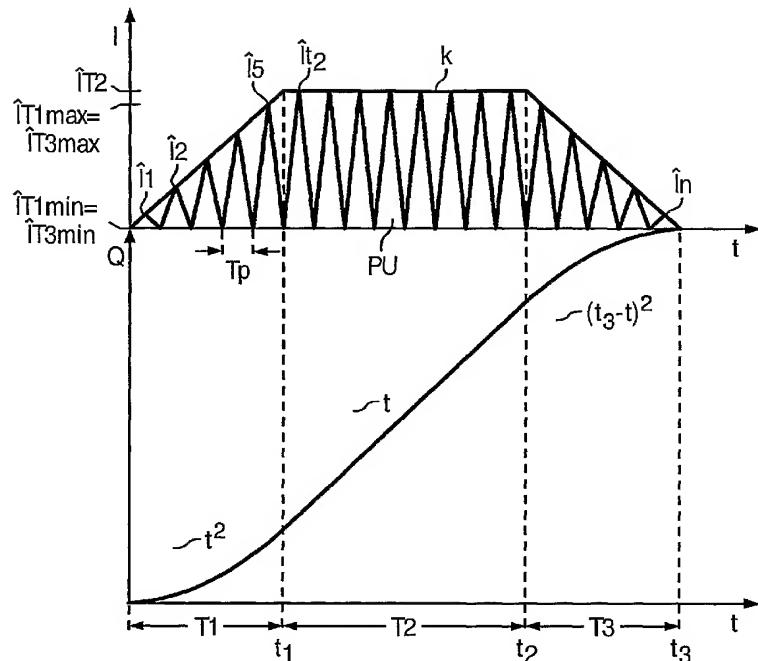
(30) Angaben zur Priorität:
10 2004 009 614.7
27. Februar 2004 (27.02.2004) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE];
Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR CONTROL OF A CAPACITIVE ACTUATOR

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM ANSTEUERN EINES KAPAZITIVEN STELLGLIEDS



(57) Abstract: The invention relates to a piezoelectric actuator on an injection valve, controlled by application of a control curve (k), on which the maximum amplitudes (I_n) for the current (I) for controlling the actuator are given. A slowly rising or falling charge course at the beginning or end of a charging or discharging process and hence a linearly controllable charge level can thus be achieved over time. An overdriving of the actuator can thus be prevented.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2005/083251 A1



(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) **Zusammenfassung:** Ein piezoelektrischer Aktor eines Einspritzventils wird durch Vorgabe einer Steuerkurve (k), auf der die maximalen Amplituden (\hat{I}_n) des das Stellglied ansteuernden Stromes (I) liegen, angesteuert. Hierbei wird ein zu Beginn oder am Ende einer Lade- oder Entladephase langsam ansteigender bzw. abfallender Ladungsverlauf und somit eine über der Zeit linear steuerbare Ladungsmenge im Stellglied erreicht. Weiter wird so ein Überschwingen des Aktors verhindert.

Verfahren und Vorrichtung zum Ansteuern eines kapazitiven Stellglieds

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Ansteuern eines piezoelektrischen Stellglieds, insbesondere eines piezoelektrischen Aktors für ein Einspritzventil einer Brennkraftmaschine.

10

Beim Ansteuern kapazitiver Stellglieder, d. h. beim Auf- und/oder Entladen kapazitiver Stellglieder, werden an die Ansteuerelektronik des Stellglieds erhebliche Anforderungen gestellt. So müssen dabei Spannungen im Bereich von mehreren

15

100 V und kurzzeitige Ströme zum Laden und Entladen von mehr als 10 A bereitgestellt werden. Die Ansteuerung erfolgt meist in Bruchteilen von Millisekunden. Gleichzeitig sollte während dieser Ansteuerphasen der Strom und die Spannung dem Stellglied kontrolliert zugeführt werden.

20

Eine Ausführungsform eines kapazitiven Stellglieds stellt ein piezoelektrischer Aktor dar, wie er zur Betätigung eines Einspritzventils Verwendung findet. Ein solches Einspritzventil wird in Brennkraftmaschinen zum Einspritzen von Kraftstoff in einen Brennraum eingesetzt. Hier werden sehr hohe Anforderungen an ein exaktes und reproduzierbares Öffnen und Schließen der Ventile und damit auch an die Ansteuerung des Aktors gestellt. Um zukünftige Abgasemissionsgrenzwerte einhalten zu können, erhöht sich die Anzahl der Kraftstoffeinspritzung pro Verbrennungstakt. Dadurch werden die Einspritzzeiten und somit auch die Ansteuerzeiten für den piezoelektrischen Aktor immer kürzer, was zusätzliche Anforderungen an die Ansteuerelektronik des Aktors stellt.

35

Bei einer bekannten Schaltungsanordnung (DE 199 44 733 A1) wird ein piezoelektrischer Aktor von einem Ladekondensator über einen Transformator geladen. Hierzu wird ein auf der

Primärseite des Transformators angeordneter Ladeschalter mit einem pulsweitenmodulierten Steuersignal angesteuert. Der La-
de- und auch der Entladeschalter sind dort als steuerbare
Halbleiterschalter ausgeführt. Dem piezoelektrischen Aktor
5 werden zum Laden oder Entladen vorgegebene Energiepakete zu-
geführt bzw. entnommen.

Werden Energiepakete benötigt, die kleiner als die vorgegebe-
nen Energiepakete sind, so benötigt die bekannte Schaltungs-
10 anordnung zur zeitlichen Mittelung der dem piezoelektrischen
Aktor zugeführten und wieder entnommenen Energie ein stark
wirksames Ausgangsfilter. Weiter werden hier identische Lade-
und Entladeströme vorausgesetzt, sofern die Steuerkennlinie
des Aktors keine Unstetigkeitsstellen aufweisen soll.

15 Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrich-
tung zum Ansteuern eines kapazitiven Stellglieds zu schaffen,
die sich durch eine hohe Auflösung und Reproduzierbarkeit
auszeichnen.

20 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit
den Merkmalen des Patentanspruchs 1, sowie durch eine Vor-
richtung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 11 gelöst.

25 Gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren wird das Stellglied in
zumindest drei Schritten mit jeweils einer vorgegebenen Zeit-
dauer aufgeladen. Während jeder dieser zumindest drei Zeit-
dauern fließt beim Aufladen des Stellglieds ein Strom in das
Stellglied.

30 Während der ersten Zeitspanne wird eine Amplitude des Stroms
von einem vorgegebenen Minimum auf ein vorgegebenes Maximum
erhöht. Während der zweiten Zeitspanne wird die Amplitude des
Stroms in etwa konstant gehalten. Schließlich wird während
35 der dritten Zeitspanne die Amplitude des Stroms von einem vor-
gegebenen maximalen Strom auf einen ebenfalls vorgegebenen
Endwert reduziert.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung weist eine Steuervorrichtung und eine Endstufe auf, wobei die Endstufe über ein Steuersignal der Steuervorrichtung angesteuert wird. Die Steuervorrichtung stellt für eine erste vorgegebene Zeitdauer ein Steuersignal zur Verfügung, das während dieser ersten Zeitdauer von einem vorgegebenen Minimum auf ein vorgegebenes Maximum ansteigt. Für eine zweite vorgegebene Zeitdauer, die auf die erste Zeitdauer folgt, stellt die Steuervorrichtung 5 ein weitestgehend konstantes Steuersignal zur Verfügung. Für eine dritte vorgegebene Zeitdauer stellt die Steuervorrichtung ein Steuersignal zur Verfügung, das sich über die dritte vorgegebene Zeitdauer von dem vorgegebenen Maximum auf einen vorgegebenen Endwert verringert.

10
15 Entsprechende Annahmen gelten auch für das Entladen eines Stellglieds. Hierbei wird während der ersten Zeitdauer ebenfalls die maximale Amplitude des Stroms von einem Minimum auf ein Maximum erhöht. Während der zweiten Zeitdauer wird die Amplitude konstant gehalten und während der dritten Zeitdauer wird die Amplitude des Stroms von einem Maximum auf einen ebenfalls vorgegebenen Endwert erniedrigt. Hierbei ist der Entladestrom so gerichtet, dass sich die im Aktor gespeicherte Energie verringert.

20
25 Durch die erfindungsgemäße Ansteuerung des Stellglieds wird ein weicher Anfangs- und Endverlauf der dem Stellglied zugeführten elektrischen Ladung erreicht. Da beispielsweise bei einem piezoelektrischen Stellglied die diesem zugeführte Ladung proportional zu dessen Wegänderung und Kraftänderung ist, wird durch eine langsame Änderung der Ladung über der Zeit im Anfangs- und Endverlauf des Aufladens oder Entladens 30 ein Überschwingen des Stellglieds verhindert. Hierdurch werden störende mechanische oder akustische Effekte reduziert.

35

Eine Steuerung des Lade- oder Entladestroms ist ausschließlich für die Zeitdauer des Ladens oder Entladens erforderlich.

- 5 Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unter-
ansprüchen angegeben.

In einer ersten bevorzugten Ausführungsform ist ein Einstellen der dem Stellglied zugeführten Ladung ohne eine Änderung 10 der gesamten Ladezeitdauer möglich. Hier werden lediglich die Steigungen in der ersten und in der dritten Zeitdauer des Ladens bzw. Entladens verändert. Durch eine Anpassung der Steigung lässt sich die Linearität der Ansteuerung beeinflussen.

- 15 In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird die dem Stellglied zugeführte Ladungsmenge durch eine Änderung der zweiten Zeitdauer variiert. Auf diese Weise kann trotz einer Quantisierung, wie sie beispielsweise durch eine getaktete Endstufe hervorgerufen wird, das Stellglied linear gesteuert 20 werden. Die erste und/ oder dritte Zeitdauer bleibt hierbei unverändert, wodurch die Abschaltrampe nur zeitlich verschoben wird und das Abschaltverhalten gleich bleibt.

So lässt sich ein weiter linearer Steuerbereich erzielen.

- 25 Hierbei sind Änderungen von 10 bis 100 % in Bezug auf die Energie oder 20 bis 100 % in Bezug auf die Zeit möglich. Ein Linearitätsfehler kleiner 0,5 % ist so realisierbar. Unterschiedliche Lade- und Entladeströme haben keinen Einfluss auf die Linearität des Steuerverfahrens.

- 30 In einer bevorzugten Ausführungsform hat das der Endstufe zugeführte Steuersignal einen vorbestimmten Ausgangsstrom zur Folge. Das Steuersignal lässt sich durch eine analoge oder eine digitale Schaltung erzeugen. Unabhängig von der Ansteuerung der Endstufe selbst ist so die Form des dem Stellglied zugeführten Stroms einstellbar.

Vorteilhafterweise entspricht die maximale Amplitude des Stroms während der zweiten Zeitdauer und das Maximum der dritten Zeitdauer in etwa dem vorgegebenen Maximum der ersten Zeitdauer.

5

In einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel entspricht die Einhüllende der maximalen Amplituden über die drei vorgegebenen Zeitdauern in etwa der Form eines Trapezes.

10 In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform handelt es sich bei dem Lade- und/ oder Entladestrom um einen intermittierenden Strom, der beispielsweise durch eine getaktete Strom- oder Spannungsquelle zur Verfügung gestellt wird.

15 Weiter kann der Strom aus einer Folge von Pulsen zusammengesetzt werden, deren maximale Amplitude jeweils auf einem für diese Zeitdauer vorgegebenen Punkt der Hüllkurve liegt.

20 In bevorzugter Weise eignen sich für diese Pulse Dreieckspulse.

25 In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens wird das Stellglied nicht lückend angesteuert, d. h. die Amplitude des Stroms steigt nach Erreichen eines vorgegebenen Minimums wieder ohne Pause an.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die schematischen Zeichnungen weiter beschrieben. Es zeigen:

30

Figur 1 ein Ausführungsbeispiel eines Verlaufs des einem Stellglied zugeführten Stroms und der daraus resultierenden Ladung des Stellglieds über der Zeit,
Figur 2 ein weiteres Ausführungsbeispiel eines dem Stellglied zugeführten Stromverlaufs,
35 Figur 3 ein Blockschaltbild einer Vorrichtung zum Ansteuern eines kapazitiven Stellglieds,

Figur 4a ein erstes Ausführungsbeispiel einer Steuereinheit,
und

Figur 4b ein zweites Ausführungsbeispiel einer Steuereinheit.

- 5 Die Figuren 1 und 2 zeigen den Verlauf eines einem Stellglied zugeführten Stroms I. In Figur 1 ist zusätzlich die durch den Strom I in das Stellglied eingespeicherte Ladungsmenge Q als Funktion der Zeit t aufgetragen.
- 10 Bei dem Stellglied handelt es sich hier um ein kapazitives, insbesondere ein piezoelektrisches Stellglied P, wie es zum Betätigen eines Einspritzventils verwendet wird. Solche Einspritzventile finden beispielsweise bei Brennkraftmaschinen Anwendung.
- 15 Der obere Teil der Figur 1 zeigt den Verlauf des dem Stellglied zugeführten Stroms I. Hierbei schließen sich dreieckförmige Strompulse PU mit einer Pulsdauer Tp einander an. Die maximalen Amplituden \hat{I}_1 bis \hat{I}_n folgen hierbei einer Steuerkurve k.
- 20

Der Verlauf der Steuerkurve k entspricht hier einem Trapez. Während einer ersten Zeitdauer T1 steigen die maximalen Amplituden \hat{I}_n des Stroms I von einem vorgegebenen Minimum \hat{I}_{minT1} , hier 0, auf ein vorgegebenes Maximum \hat{I}_{maxT1} an. Dieses Maximum \hat{I}_{maxT1} wird aufgrund einer gewünschten Ladung Q des Stellglieds P am Ende der Ladephase ($T_1+T_2+T_3$) aus einem vorgegebenen Kennlinienfeld gewählt. Das Kennlinienfeld kann beispielsweise die Zuordnung verschiedener Parameter der Brennkraftmaschine, wie z.B. Drehzahl und/ oder Last zur benötigten Kraftstoffmenge und somit zur gewünschten Ladung Q enthalten. Dieses Kennlinienfeld kann beispielsweise experimentell oder auch rechnerisch ermittelt werden. Die Wegänderung Δd am Stellglied P entspricht hierbei der dem Stellglied P zugeführten Ladung Q. Für die Ladung Q gilt $Q = \int I(dt)$.

Im unteren Teil der Figur 1 ist der zeitliche Verlauf der im Stellglied P eingespeicherten Ladung Q über der Zeit t aufgetragen. Während der ersten Zeitdauer T1 steigt die im Stellglied P gespeicherte Ladungsmenge Q proportional zu t^2 an.

5

Während einer zweiten Zeitdauer T2 bleibt die maximale Amplitude der Strompulse PU konstant. Es folgen hier Strompulse PU mit einer maximalen Amplitude $\hat{I}T_2$ und einer Pulsbreite T_p direkt aufeinander. Hier entspricht $\hat{I}T_2$ in etwa dem maximalen Strom \hat{I}_{maxT1} der Zeitdauer T1. Während dieser Zeitdauer T2 steigt die dem Stellglied P zugeführte Ladungsmenge Q proportional mit Zeit t an.

10 Im letzten Abschnitt T3 reduziert sich die Amplitude \hat{I} in der Strompulse PU von einem vorgegebenen Maximum \hat{I}_{maxT3} bis auf einen ebenfalls vorgegebenen Endwert \hat{I}_{minT3} , hier 0. Hier entspricht \hat{I}_{maxT3} in etwa der maximalen Amplitude \hat{I}_{maxT1} , die in der Zeitdauer T1 auftritt. Die dem Stellglied P zugeführte Ladungsmenge Q verhält sich während dieser Zeitdauer T3 proportional zu $(t_3-t)^2$.

15

Die Zeitdauern T1 und T3 werden hier so gewählt, dass hinreichend viele Pulse PU in T1 oder T3 vorhanden sind. Dementsprechend wird eine Schaltfrequenz $f_p = \frac{1}{2T_p}$ gewählt.

20

Vorzugsweise sollten etwa 5 bis 10 Pulse innerhalb der ansteigenden bzw. abfallenden Flanke der Kurve verlaufen. Dementsprechend muss die Schaltfrequenz ft einer das Stellglied ansteuernden Endstufe E ausgewählt werden. Durch die geeignete Wahl der Pulsbreite T_p wird eine ausreichende Mittelung der durch die Pulsbreite T_p hervorgerufenen Quantisierung ermöglicht und die Ladungsmenge über der gesamten Ladezeit $T1+T2+T3$ linear gesteuert.

25

30

35

Die Pulsbreite T_p kann während der Zeitdauer T1, T2 und T3 des Ansteuerns konstant bleiben.

Um eine lineare Steuerung der Wegänderung Δd am Stellglied P zu erreichen, wird die dem Stellglied zugeführte Ladungsmenge hauptsächlich durch eine Änderung der zweiten Zeitdauer T2 erreicht. Hierbei wird die abfallende Rampe, die die Hüllkurve 5 der Amplituden \hat{I} während der dritten Zeitdauer T3 bildet, zeitlich verschoben, die dritte Zeitdauer T3 bleibt unverändert.

Eine alternative Ausführungsform des das Stellglied P ansteuernden Stroms I ist in Figur 2 dargestellt. Hier wird die 10 Pulsbreite T_p während der Zeitdauer T3 reduziert und somit die Schaltfrequenz f_t erhöht.

Figur 3 zeigt ein Blockschaltbild eines Ausführungsbeispiels einer Vorrichtung zum Ansteuern eines Stellglieds. Das Stellglied, hier ein piezoelektrisches Stellglied P, ist über eine Induktivität L mit einer Endstufe E verbunden. Die Endstufe E liefert einen das piezoelektrische Stellglied über die Induktivität L aufladenden Strom I. Die Endstufe E kann als herkömmlicher Schaltwandler, beispielsweise als Buck-Boost-, als 15 Flyback-, oder als SEPIC-Konverter ausgeführt sein. Die Endstufe E liefert abhängig von einer Steuerspannung UST, die von einer Steuereinheit ST bereitgestellt wird, den das piezoelektrische Stellglied P auf- oder entladenden Strom I. Die 20 25 in Figur 3 eingezeichnete Richtung des Stroms I zeigt die Stromrichtung bei einem Ladevorgang.

Figur 4a zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel einer Steuereinheit ST. Diese weist einen Digital-Analog-Wandler, vorzugsweise einen schnellen multiplizierenden Digital-Analog-Wandler D/A1 mit einem nachgeschalteten Tiefpassfilter R1', C1' auf. Dem Digital-Analog-Wandler D/A1 wird an einem Digitaleingang Din einen Vorgabewert X zugeführt und an einem weiteren Eingang Ref eine die maximale Amplitude \hat{I}_{max} des Stroms I vorgebende Steuerspannung $U\hat{I}_{max}$. Die angelegte Steuerspannung $U\hat{I}_{max}$ wird dann mit dem eingestellten Digitalwert X multipliziert und am Ausgang als Steuerspannung UST ausgegeben.

ben, so dass der Digital-Analog-Wandler wie ein genaues digitales Potentiometer arbeitet. Sowohl der Vorgabewert X, als auch die maximale Amplitude werden von einem Mikrocontroller μ C bereitgestellt. Hierbei wird die Steuerspannung U_{fmax} aus der digitalen Information des Mikrocontrollers μ C durch einen zweiten Digital-Analog-Wandler D/A2 erzeugt. Über das aus dem Widerstand R1' und dem Kondensator C1' gebildete Tiefpassfilter wird das so erzeugte Steuersignal UST der Endstufe E zugeführt. So kann die Hüllkurve k vorgegeben werden, ohne dass die zeitliche Ansteuerung des Aktors P durch die Endstufe verändert wird.

Figur 4b zeigt ein Ausführungsbeispiel einer aus analogen Bauelementen aufgebauten Schaltungsanordnung zum Erzeugen des Steuersignals UST. Die dort gezeigte Schaltungsanordnung weist einen einerseits mit Masse GND verbundenen Ladekondensator C1 auf, der andererseits über einen Spannungsbegrenzer B mit dem Ausgang UST der Schaltungsanordnung verbunden ist.

Der Spannungsbegrenzer B ist am nicht invertierenden Eingang + mit einer der zu begrenzenden Spannung entsprechenden Spannung U/2 verbunden. Der invertierende Eingang - ist mit der Masse abgewandten Seite des Kondensators C1 verbunden. Der Ausgang UST des Spannungsbegrenzers B ist ebenfalls mit diesem Anschluss des Kondensators C1 elektrisch verbunden. Der Kondensator C1 ist weiter über einen Widerstand R5 und einen Auswahlschalter S1 (bei Schalterstellung Entladen "E") mit der Versorgungsspannung U elektrisch verbunden. In einer zweiten Schalterstellung Laden "L" des Schalters S1 ist der Kondensator C1 über den Widerstand R5 mit dem Ausgang eines als invertierenden Spannungsverstärkers geschalteten Operationsverstärkers OP verbunden. Der Operationsverstärker OP ist mit seinem nicht invertierenden Eingang + mit Masse GND und mit seinem invertierenden Eingang - über einen Widerstand R3 mit der hier durch einen Spannungsteiler R1, R2 ($R1=R2$) halbierten Versorgungsspannung U verbunden. Der Ausgang des Ope-

rationsverstärkers OP ist über einen weiteren Widerstand R4 auf seinen invertierenden Eingang rückgekoppelt.

Hier wird die Rampe des Steuersignals UST dadurch erzeugt,
5 dass der Kondensator C1 in der Schalterstellung L geladen und anschließend in Schalterstellung E entladen wird. Durch den Strombegrenzer B wird erreicht, dass die Entladespannung des Kondensators C1 so begrenzt wird, dass die Steuersignal UST sich im linearen Bereich der Entladespannung des Kondensators
10 C1 befindet. Anstelle des RC-Glieds R5, C1 kann jedoch auch ein idealer Integrator verwendet werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Ansteuern eines Stellglieds, insbesondere eines piezoelektrischen Stellglieds, das die folgenden 5 Schritte aufweist:
 - das Stellglied wird in zumindest drei Schritten mit jeweils einer vorgegebenen Zeitdauer (T_1 , T_2 , T_3) durch einen Strom (I) auf- oder entladen,
 - während der ersten Zeitdauer (T_1) wird die maximale Amplitude (\hat{I}_n) des Stroms (I) von einem vorgegebenen Minimum (\hat{I}_{minT1}) auf ein vorgegebenes erstes Maximum (\hat{I}_{maxT1}) erhöht,
 - während der zweiten Zeitdauer (T_2) wird die maximale Amplitude (\hat{I}_n) des Stroms (I) in etwa konstant gehalten, und
 - während der dritten Zeitdauer (T_3) wird die maximale Amplitude (\hat{I}_n) des Stroms (I) von einem weiteren vorgegebenen Maximum (\hat{I}_{maxT3}) auf ein weiteres vorgegebenes Minimum (\hat{I}_{minT3}) erniedrigt.
- 20 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Maximum (\hat{I}_{maxT1}) entsprechend einer dem Stellglied (p) zuzuführenden Ladungsmenge (Q) gewählt wird.
- 25 3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Zeitdauer (T_2) entsprechend einer dem Stellglied (p) zuzuführenden Ladungsmenge (Q) gewählt wird.
- 30 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Maximum (\hat{I}_{maxT1}) und/ oder die zweite Zeitdauer (T_2) in Abhängigkeit von einer vorgegebenen Längenänderung (Δd) aus einem Kennlinienfeld ausgesehen werden.
- 35 5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die maximalen Amplituden (\hat{I}_n) auf einer

Hüllkurve (k) liegen, die über die drei vorgegebenen Zeitdauern (T₁, T₂, T₃) in etwa die Form eines Trapezes aufweist.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch
5 gekennzeichnet, dass der Strom (I) intermittierend ist.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass
der Strom (I) aus einer Folge von Pulsen (PU) zusammengesetzt
wird, wobei die maximale Amplitude (\hat{I}) jeweils dem maximalen
10 Strom des jeweiligen Pulses (PU) entspricht.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass
die Pulse (PU) die Form eines Dreiecks aufweisen.

15 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 4, dadurch ge-
kennzeichnet, dass Amplituden (\hat{I}_n) des Stroms (I) nach Errei-
chen eines vorgegebenen Minimums ohne Pause ansteigen.

20 10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, da-
durch gekennzeichnet, dass der Strom (I) von einer Endstufe
(E) in Abhängigkeit von einer Steuerspannung (UST) bereitge-
stellt wird, wobei die Steuerspannung (UST) von einem Digi-
tal-Analog-Wandler (DA1) bereitgestellt wird.

25 11. Vorrichtung zum Ansteuern eines Stellglieds, insbesondere
eines piezoelektrischen Stellglieds, die aufweist:

- eine Endstufe (E), die einen Steuereingang (UST) aufweist,
und
- eine Steuervorrichtung (ST), die eine Steuerspannung (UST)
30 zum Betreiben der Endstufe (E) bereitstellt, wobei das
Steuersignal (UST) während einer ersten vorgegebenen Zeit-
dauer (T₁) von einem vorgegebenen Minimum (\hat{I}_{minT1}) auf ein
vorgegebenes Maximum (\hat{I}_{maxT1}) ansteigt, während einer zwei-
ten vorgegebenen Zeitdauer (T₂) konstant bleibt und während
35 einer dritten vorgegebenen Zeitdauer (T₃) von einem vorge-
gebenen Maximum (\hat{I}_{maxT3}) auf einen vorgegebenen Endwert
(\hat{I}_{minT3}) abfällt.

12. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung einen Digital-Analog-Wandler (DA1) aufweist, der die Steuerspannung (UST) bereitstellt.

5

1/2

FIG 1

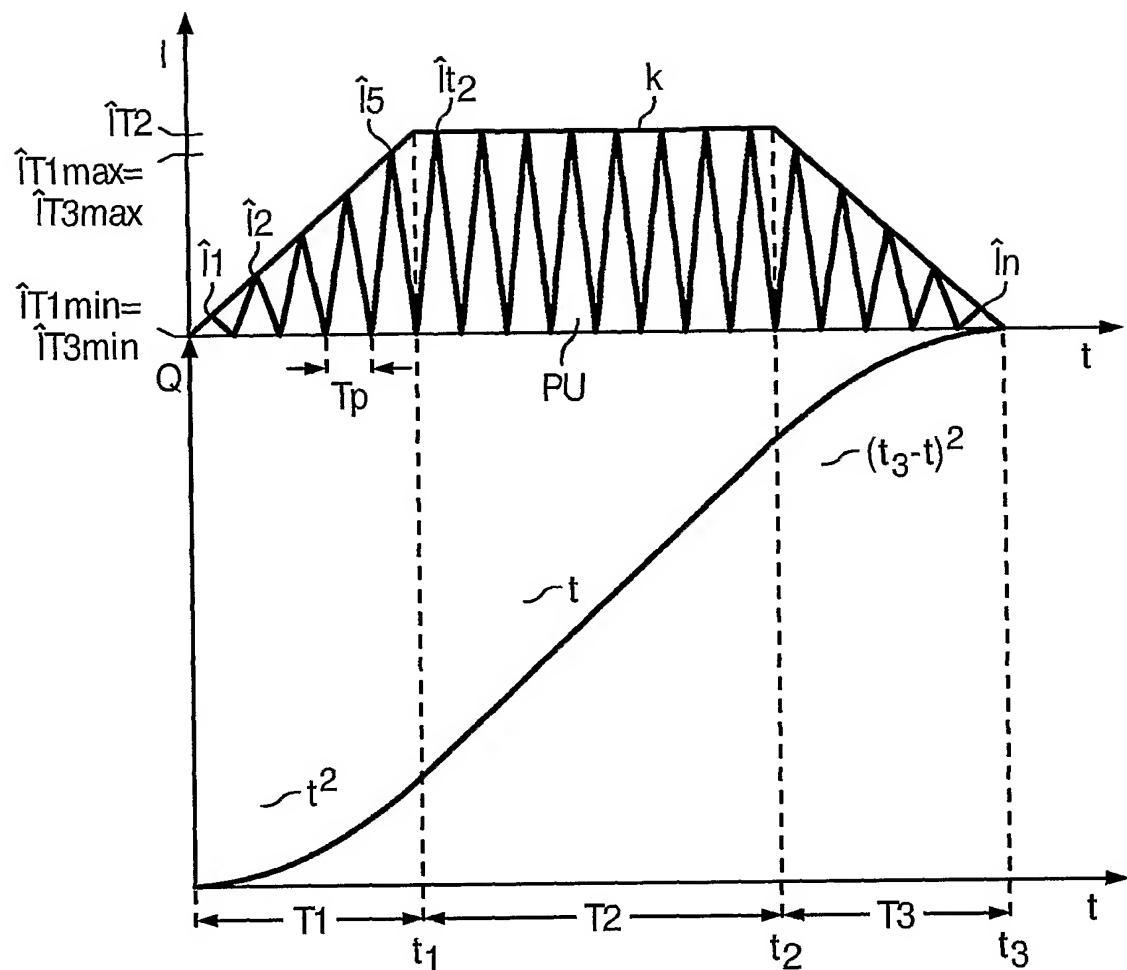
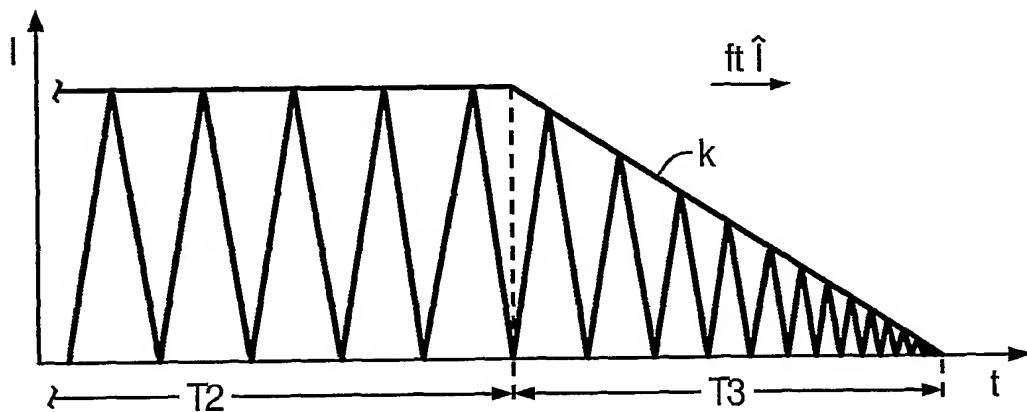


FIG 2



2/2

FIG 3

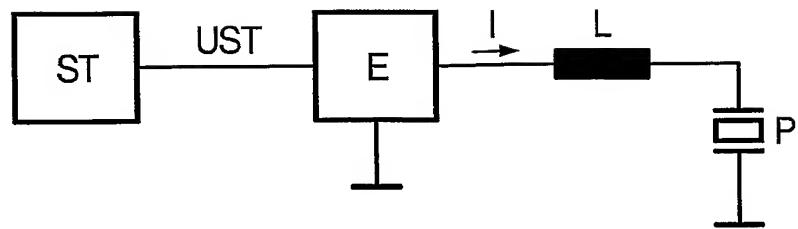


FIG 4A

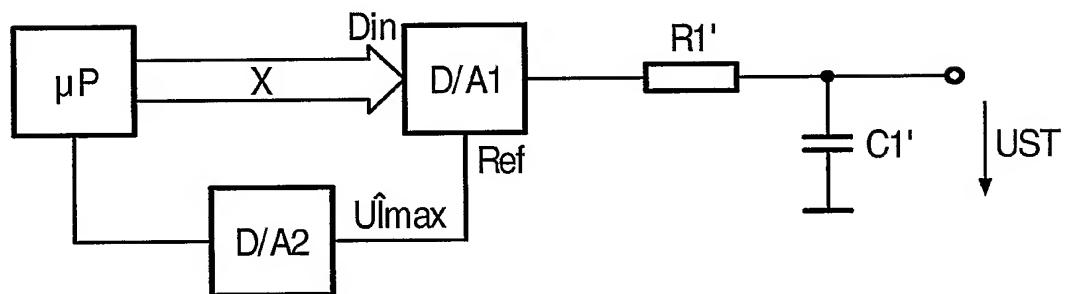
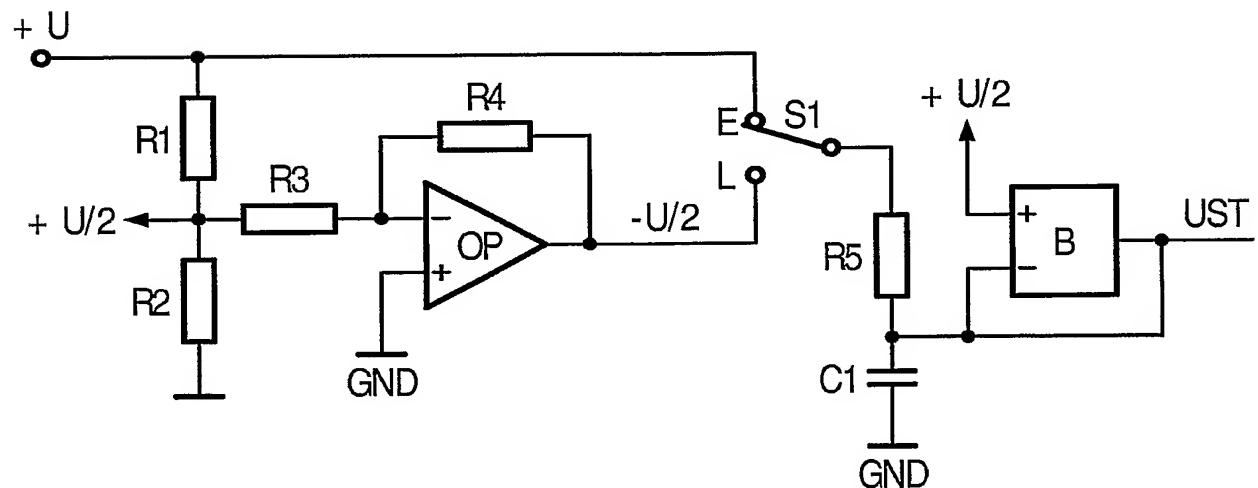


FIG 4B



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2005/050508

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 F02D41/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 F02D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 01/33061 A (SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; CHEMISKY, ERIC; KAPPEL, ANDREAS; GOTTLIEB,) 10 May 2001 (2001-05-10) abstract; claims 1,6-9; figures 3-5 page 2, line 24 - page 4, line 6 page 10, line 10 - page 12, line 2 ----- US 6 031 707 A (MEYER ET AL) 29 February 2000 (2000-02-29) abstract; claim 1; figure 2 column 4, line 37 - column 4, line 65 ----- DE 101 58 553 A1 (DENSO CORP., KARIYA) 13 June 2002 (2002-06-13) abstract; claims 1,6; figure 13 paragraphs '0097! - '0102! ----- -/-	1,5-12 1,5,11 1-12

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

13 May 2005

Date of mailing of the international search report

23/05/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Van der Staay, F

INTERNATIONAL SEARCH REPORTInternational Application No
PCT/EP2005/050508**C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 130 598 A (VERHEYEN ET AL) 14 July 1992 (1992-07-14) abstract; claims 1-4,10; figure 3b column 4, line 48 - column 5, line 6	1,11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No PCT/EP2005/050508	
---	--

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)		Publication date
WO 0133061	A	10-05-2001	DE WO DE EP	19952950 A1 0133061 A1 50007513 D1 1226348 A1		07-06-2001 10-05-2001 23-09-2004 31-07-2002
US 6031707	A	29-02-2000	DE GB JP	19907505 A1 2334623 A ,B 11280527 A		09-09-1999 25-08-1999 12-10-1999
DE 10158553	A1	13-06-2002	JP JP	2002161824 A 2002217462 A		07-06-2002 02-08-2002
US 5130598	A	14-07-1992	AU BR CA DE DE EP JP WO	6296890 A 9007546 A 2063382 A1 69004693 D1 69004693 T2 0482112 A1 4507481 T 9117351 A1		27-11-1991 30-06-1992 09-11-1991 23-12-1993 10-03-1994 29-04-1992 24-12-1992 14-11-1991

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2005/050508

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 F02D41/20

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 F02D

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der Internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Beitr. Anspruch Nr.
X	WO 01/33061 A (SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; CHEMISKY, ERIC; KAPPEL, ANDREAS; GOTTLIEB,) 10. Mai 2001 (2001-05-10) Zusammenfassung; Ansprüche 1,6-9; Abbildungen 3-5 Seite 2, Zeile 24 – Seite 4, Zeile 6 Seite 10, Zeile 10 – Seite 12, Zeile 2	1,5-12
X	US 6 031 707 A (MEYER ET AL) 29. Februar 2000 (2000-02-29) Zusammenfassung; Anspruch 1; Abbildung 2 Spalte 4, Zeile 37 – Spalte 4, Zeile 65	1,5,11
A	DE 101 58 553 A1 (DENSO CORP., KARIYA) 13. Juni 2002 (2002-06-13) Zusammenfassung; Ansprüche 1,6; Abbildung 13 Absätze '0097! – '0102!	1-12
		-/-

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

- * Besonders Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem Internationalen Anmeldeatum veröffentlicht worden ist
- "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- "P" Veröffentlichung, die vor dem Internationalen Anmeldeatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
- "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldeatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des Internationalen Recherchenberichts
13. Mai 2005	23/05/2005
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5518 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter Van der Staay, F

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHTInternationales Aktenzeichen
PCT/EP2005/050508

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 5 130 598 A (VERHEYEN ET AL) 14. Juli 1992 (1992-07-14) Zusammenfassung; Ansprüche 1-4,10; Abbildung 3b Spalte 4, Zeile 48 – Spalte 5, Zeile 6 -----	1,11

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2005/050508

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
WO 0133061	A	10-05-2001	DE	19952950 A1		07-06-2001
			WO	0133061 A1		10-05-2001
			DE	50007513 D1		23-09-2004
			EP	1226348 A1		31-07-2002
US 6031707	A	29-02-2000	DE	19907505 A1		09-09-1999
			GB	2334623 A ,B		25-08-1999
			JP	11280527 A		12-10-1999
DE 10158553	A1	13-06-2002	JP	2002161824 A		07-06-2002
			JP	2002217462 A		02-08-2002
US 5130598	A	14-07-1992	AU	6296890 A		27-11-1991
			BR	9007546 A		30-06-1992
			CA	2063382 A1		09-11-1991
			DE	69004693 D1		23-12-1993
			DE	69004693 T2		10-03-1994
			EP	0482112 A1		29-04-1992
			JP	4507481 T		24-12-1992
			WO	9117351 A1		14-11-1991